徐冷フェロニッケルスラグの盛土材としての有効性の検討

八戸工業大学　学生会員　○盛　健太郎
八戸工業大学大学院　学生会員　小山　直輝
八戸工業大学　正会員　橋詰　豊
八戸工業大学大学院　正会員　金子　賢治

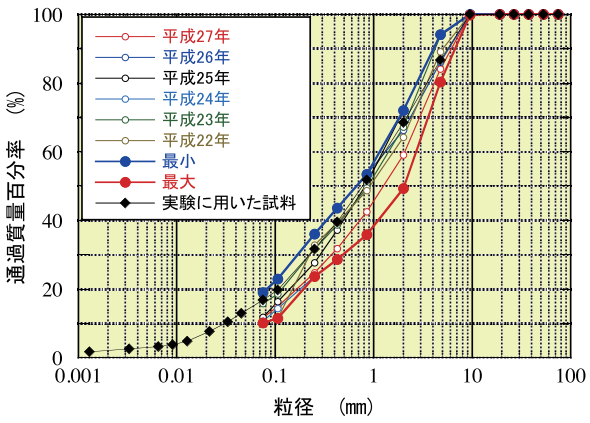
1. はじめに

フェロニッケルを精錬する際の副産物であるフェロニッケルスラグは，コンクリート用骨材や路盤材などとして有効利用されているが，発生量に対して十分な利用量にはなっておらず，さらなる用途を生み出す必要がある．また，副産物として利用されるため材料単価が低く設定されており，その特長を活かした利用法が望まれる．フェロニッケルスラグを地盤材料として利用する場合には，天然材料と比較して土粒子の密度が大きいことや内部摩擦角が大きいことが特徴となる．これについては，軟弱地盤上に構築する場合を除いて，自重により土圧に抵抗する用途であれば，利用価値が高いと考えられる．したがって，本研究では，最も安価に製造される砂質土の粒度を有する徐冷フェロニッケルスラグを対象として，まず，室内試験により基礎的な物性値を把握する．さらに，それを盛土材として使用した簡単な補強盛土の設計を行って，天然砂を使用した場合と比較・検討することで，徐冷フェロニッケルスラグの盛土材としての有効性について検討する．なお，フェロニッケルスラグは，これまでの検討により地盤材料としての環境基準は満たしており，他のスラグ類の中でも非常に安全性が高いことがわかっている．

2. 徐冷フェロニッケルスラグの基本的物性

副産物であるスラグにおいては，鉱石の違い等により天然砂に比べてバラツキが大きい．これまで，八戸工業大学では年に 1 度の基礎的な土質試験結果を蓄積してきており，本研究では平成 22 年 3 月～27 年 3 月までの 6 年間の各土質試験結果のバラツキを調べた．その結果，粒度のバラツキが大きいことがわかった．本研究では，これらのデータに基づいて，**図–1** に示すようなこの間の最小の粒度 (青線) を目標値として，粒度調整した試料を用いることとした．同図には粒度調整して作成した試料の粒度試験結果も示しているが，目標値よりは若干大きめの粒度分布となっている．

徐冷フェロニッケルスラグと比較のために行った青森県五戸町で採取された山砂の土質試験結果を**表–1** に示す．締固め試験は A-b 法により行い，せん断強度定数については圧密排水三軸圧縮試験により求めた．フェロニッケルスラグは，天然の山砂と比較して土粒子の密度，最大乾燥密度が大きいことがわかる．また，内部摩擦角については約 40 ° と盛土材料として十分な強度を有していることがわかる．



図–1 粒度分布

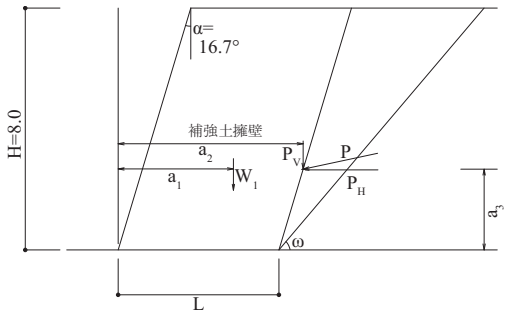
表–1 土質試験結果一覧

試験項目	スラグ	山砂（五戸町）
土粒子の密度 (g/cm^3)	3.253	2.735
礫分 (%)	31.49	1.21
砂分 (%)	51.67	98.43
細粒分 (%)	16.84	0.36
最大粒径 (mm)	9.5	9.5
均等係数	45.16	2.64
曲率係数	1.02	0.80
最大乾燥密度 (g/cm^3)	2.409	1.715
最適含水比 (%)	9.579	18.355
内部摩擦角 (°)	40.1	37.7
粘着力 (kN/m^2)	33.8	6.6

3. 補強盛土の設計及び考察

ここでは，前章で求めた土質試験結果を基に例として簡単な補強土壁の設計計算[1)]を実施して，フェロニッケルスラグの盛土材としての有効性について検討する． ただし，補強土擁壁の内的安定は満たしているとし，外的安定のうち支持力は十分満足すると仮定して，主に滑動と転倒についての検討を行う．

Key Words: 徐冷フェロニッケルスラグ，有効利用，盛土材
(〒 031-8501 八戸市大字妙字大開 88-1)



図–2 設計断面

表–2 設計パラメータ

	フェロニッケルスラグ	山砂
ϕ（°）	40.1	37.7
c（kN/m^2）	0	0
γ（kN/m^3）	24.39	18.90
δ（°）	13.4	12.6

表–3 設計の結果

	スラグ	山砂
主働すべり角 ω（°）	56.1	54.7
くさび土塊の自重 W（kN/m）	290.31	246.77
主働土圧合力 P_a（kN/m）	84.80	77.35
補強領域の幅 L（m）	1.03	1.32
補強領域の体積 V（m^3）	8.26	10.59

(1) 設計の概要

設計の対象とした断面を**図–2** に示す．壁高 8m とし補強土擁壁の勾配を 1:0.3 とした．簡単のために上載盛土や上載荷重は無いものとした．設計に用いるパラメータを**表–2** に示す．粘着力は 2 つの盛土材ともに 0 とし，補強土擁壁と盛土の境界の摩擦角 δ は $\phi/3$ とした．湿潤単位体積重量は，締固め試験の結果より締固め度 95%，最適含水比として設定した．

まず，試行くさび法により，いくつかの主働すべり角 ω に対する背面土圧 P_A を

$$P_A = \frac{\sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \delta - \alpha)} W \tag{1}$$

のように求め，P_A の最大値とそのときの ω を求める．ここで，W は補強領域背面のくさび形土塊の自重であり，次式で表される．

$$W = \frac{1}{2} \frac{\cos(\omega - \alpha)}{\sin\omega \cos\alpha} \gamma H^2 \tag{2}$$

また，土圧 P_A の水平成分 P_H および鉛直成分 P_V は，それぞれ，

$$P_H = P_A \cos(\phi - \alpha), P_V = P_A \sin(\phi - \alpha) \tag{3}$$

と書くことができる．

補強土領域背面に作用する土圧に対して，まず，滑動に対する安全率

$$F_s = (\alpha_1 \tan\phi(\gamma H L + P_V))/P_H \tag{4}$$

より，壁高 H は一定として補強領域の幅 L を

$$L = \left\{ \frac{F_s P_H}{\alpha_1 \tan\phi} - P_V \right\} / (\gamma H) \tag{5}$$

として求める．ここで，α_1 は摩擦補正係数であり，ここでは 1 とした．また，安全率 F_s は地震時土圧を考慮していないため大きめの $F_s = 2$ と仮定し，壁高 H と勾配は一定として補強土擁壁の幅 L を決定する．

決定した L を基に補強領域の転倒の検討を行って，転倒に対する安定性についてもチェックする[1)]．

(2) 設計の結果および考察

前節のように設計した結果，滑動の安全率を満たす場合には，転倒の安定条件についても満足する結果となった．設計した結果について整理して，**表–3** に示す．フェロニッケルスラグの単位体積重量が大きいため，くさび土塊の自重および主働土圧は，フェロニッケルスラグの方が大きくなった．しかし，補強領域については，フェロニッケルスラグを用いた場合の方が補強領域の幅 L が小さくなり，断面の単位奥行き当たりの体積 V は約 22%小さくなった．これは，滑動に対する安定性については単位体積重量や内部摩擦角が大きい方が有利となるが，本文における検討では単位体積重量の影響が大きいと考えられる．

補強領域の断面積を小さくできることは，材料コストに加えて用地も小さくできることから経済性に関して非常に有利であり，フェロニッケルスラグを補強盛土の盛土材として利用することは有効である．

4. おわりに

本文では，徐冷フェロニッケルスラグと山砂の土質試験を行って，得られた結果を設計パラメータとして簡単な補強土擁壁の設計を行い，フェロニッケルスラグの盛土材についての有用性について検討した．フェロニッケルスラグの力学特性については盛土材として十分に利用できること，補強土擁壁の盛土材として使用した場合には山砂と比べて補強領域断面を小さくできることを示した．このことから，フェロニッケルスラグを盛土材として使用することにより材料の節約・用地縮小等によって山砂と同等の価格であったとしても結果的にトータル・コストが低減されるため有効であると言える．ただし，基礎地盤が軟弱な場合には支持力の検討において不利になるため注意が必要である．

参考文献

1) （財）土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計施工マニュアル，2013.